



# APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE BIOMASA SECUNDARIA COMO COMBUSTIBLE

Waste secondary biomass utilization as fuel

Pablo José Hurtado Rengifo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Coordinador del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Continental  
Correo electrónico: [phurtado@continental.edu.pe](mailto:phurtado@continental.edu.pe)

**Resumen**— La biomasa secundaria se halla constituida por residuos agrícolas provenientes de las labores de cosecha de diversos cultivos como el trigo, el algodón, el arroz, el café (pajilla, tallos, etc.), y por residuos que provienen de algún proceso agroindustrial, como el bagazo de la caña de azúcar o de la cascarilla de arroz.

Dichos residuos tienen gran valor energético, pero en la actualidad no son aprovechados. Establecer los factores que determinan el empleo de residuos exige que la investigación sea del tipo experimental.

Se obtuvo como resultado que el calentamiento de estos residuos (biomasa secundaria) mejora sus propiedades e incrementa su poder calorífico; y si les da una forma de densificados (aglomerado), los convierte en una fuente de energía (combustible) importante tanto para la cocción como para la calefacción doméstica; así como su empleo en procesos industriales.

**Palabras clave:** Biomasa; residuos; densificados; aglomeración; mecanismo.

**Abstract**— The secondary biomass is constituted by agricultural residues coming from harvest labor of many crops such as wheat, cotton, rice, coffee (spikelet, stalk, etc.), and by residues coming from some agro-industrial process such as sugar cane pulp or rice chaff.

Those residues have great energetic value but currently are not used. Establish the factors that determine the use of residues request that the investigations be experimental type.

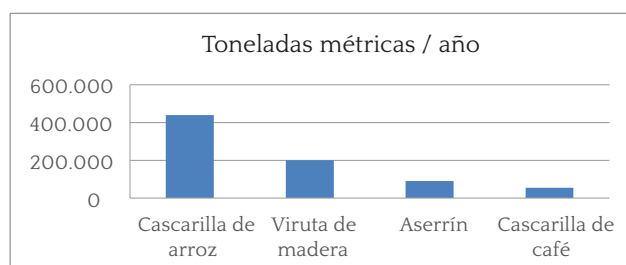
The results were that the heating of these residues (secondary biomass) improve its properties increasing its calorific power; and if it is in a compressed form, convert it in an important energy source (combustible), for cooking and for home calefaction; as well as its use in industrial process.

**Keywords:** Biomass; residues; compressed products; agglomeration; mechanism.

## I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, los negocios agroindustriales, las granjas y las industrias de la madera son una importante fuente de desechos de biomasa secundaria, los cuales, anualmente, generan más de 11'600,000 toneladas métricas/año de residuos, constituidos principalmente por 440 000 TM de cascarilla de arroz, 90 000 TM de aserrín, 200 000 TM de viruta de madera y 55 000 TM de cascarilla de café. Dichos residuos tienen casi nula aplicación en procesos industriales y/o actividades domésticas.

Gráfico 1. Generación de residuos



Elaboración propia

Los residuos de biomasa secundaria poseen en promedio 13 000 kJ/kg.

Los desechos de residuos de biomasa secundaria, debido a su baja densidad, alto grado de dispersión y alto contenido de humedad, requieren aumentar su densidad y volumen mediante el proceso de aglomeración (briquetas) para poder ser utilizados como combustible en procesos de cocción, calentamiento de agua o calefacción doméstica.

Sin embargo, la principal desventaja de las briquetas es la generación de humos durante su combustión por el alto contenido de humedad y materia volátil.

En tal sentido, el proceso de calentamiento mejora las propiedades de los residuos de biomasa (poder calorífico y resistencia a la biodegradación).

## II. EXPERIMENTACIÓN

El aprovechamiento de los residuos es una labor compleja que exige un trabajo multidisciplinario, que comprende aspectos técnicos, entre los que se pueden mencionar la determinación de las cantidades disponibles, las características

físicas y químicas y la cantidad de energía que contienen; aspectos sociales como la aceptación de los usuarios; también aspectos relacionados con el impacto ambiental que puede originar su recolección y empleo.

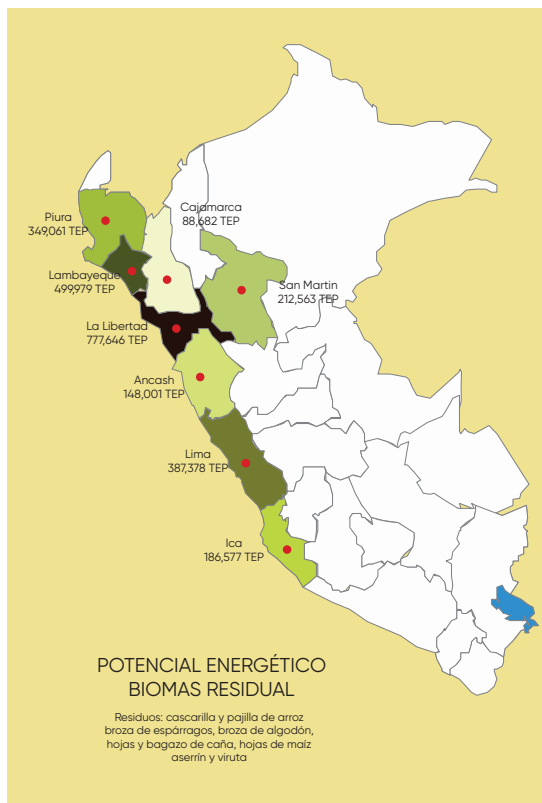


Figura 1. Potencial energético disponible correspondiente a residuos de biomasa [1].

TEP: Tonelada equivalente de petróleo (unidad de energía).  
1 TEP = 1.435 toneladas de carbón mineral

Se presentan algunos factores que determinan el empleo de los residuos de biomasa:

### Recolección

Es importante mencionar que no todos los residuos son técnico-económicamente recuperables, debido a que su recolección, durante el procesamiento, puede demandar una labor muy intensa y una exigente organización mientras que los operarios pueden tener otro orden de prioridades.

El empleo de equipos podría facilitar la labor de recolección pero incrementar el costo que deje de hacer atractivo su empleo.

### Producción promedio anual de residuos

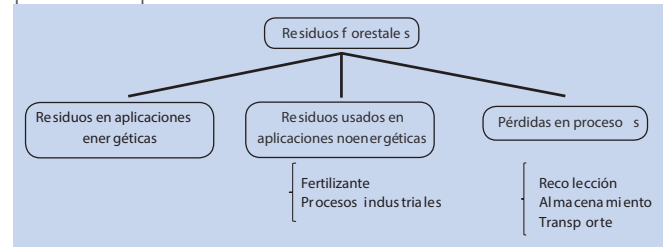
La producción de residuos depende del procesamiento de la materia prima y debe ser cuidadosamente estimada considerando la información existente.

### Usos de los residuos forestales

Es importante tener en consideración, en la evaluación de los residuos, los usos alternos que estos pueden tener, pues no todos los residuos forestales son desecho; en el caso del aserrín, este es usado como abono. Derivar su empleo en otros usos puede generar problemas con los anteriores usuarios.

Se presentan un diagrama de bloques sobre las diferentes

probables aplicaciones de los residuos forestales.



Fuente: Elaboración propia

### Poder calorífico

El poder calorífico de un combustible se define como la cantidad de calor por unidad de masa liberado durante su combustión, a presión constante y a 25 °C, obteniéndose los productos en su estado final de oxidación.

Según el estado de los productos, se distinguen dos tipos:

- Poder calorífico superior (PCS): cuando el agua formada en la combustión está condensada, por tanto incluye el calor latente [2].
- Poder calorífico inferior (PCI): cuando el agua formada en la combustión está en forma de vapor condensado, por tanto no incluye el calor latente.

El PCI de un combustible sólido se determina a partir del PCS, restándole el calor latente del agua formada, mediante fórmulas empíricas.

Influyen en el poder calorífico algunos factores como el contenido en peso de las cenizas, la humedad, los materiales volátiles y el carbono fijo [2].

En la tabla n.º 1 se muestra los valores de poder calorífico de otros combustibles sólidos:

Tabla 1. Poder calorífico de algunos combustibles en base seca [3]:

Combustible	Poder calorífico (MJ/kg)
Carbón antracítico	33,7
Carbón bituminoso	33,7
Carbón vegetal	29,0
Cascarrilla de arroz	15,0
Leña (aserrín)	20,0
Petróleo	45,0

### Cenizas [2]

Son el residuo sólido no quemado, resultan de la combustión completa del combustible.

Las cenizas producen escorias y depósitos en los refractarios y disminuyen el poder calorífico de un combustible, pues además de no aportar calor, absorben calor sensible en el hogar. Los residuos de la biomasa normalmente tienen muy bajo contenido de cenizas.

A continuación se presentan el contenido de ceniza de algunos tipos de biomasa.



Tabla 2. Contenido de ceniza de diferentes tipos de biomasa [4]

Biomasa	Contenido de ceniza (%)	Biomasa	Contenido de ceniza (%)
Coronta de maíz	1.2	Cáscara de café	4.3
Palitos de caña	1.2	Cáscara de algodón	4.6
Aserrín (mezclado)	1.3	Cáscara de almendra	4.8
Cuñas de pino	1.5	Cáscara de palma de nuez	5.1
Tallos de soya	1.5	Cáscara de maní	6.0
Bagazo	1.8	Médula de fibras de coco	6.0
Café	1.8	Médula del bagazo	8.0
Cáscara de coco	1.9	Paja de frijol (haba)	10.2
Tallos de girasol	1.9	Paja de cebada	10.3
Paja (Jowar)	3.1	Paja de arroz	15.5
Hueso de aceituna	3.2	Polvillo de tabaco	19.1
Residuos de té	3.8	Polvillo de cañas	19.9
Cáscara de tamarindo	4.2	Cáscara de arroz	22.4

El contenido de cenizas de diferentes tipos de biomasa es un indicador del comportamiento de la escoria de las biomásas. Generalmente, mientras mayor sea el contenido de ceniza, mayor será el comportamiento de la escoria.

### Humedad [2]

Es el agua contenida en un combustible; puede ser de dos clases: humedad superficial y de fácil eliminación secado al aire, hasta 110 °C de temperatura, y la humedad retenida en los poros de la biomasa, que puede conllevar a la degradación de la materia orgánica.

### Materiales volátiles

Son combinaciones de carbono, hidrógeno y otros gases, que determinan la temperatura de ignición, la forma y longitud de la llama en el momento de la combustión, además de la rapidez con que comienza a quemarse. Se muestra en la siguiente tabla el análisis inmediato de algunos combustibles.

### Carbono fijo

Es la fracción residual del carbono combinado químicamente y se calcula de la siguiente manera:

$$C_{fijo} (\%) = 100 - (\%) \text{ Humedad} - (\%) \text{ Volátiles} - (\%) \text{ Cenizas}$$

Tabla 3. Análisis inmediato de algunos combustibles-biomasa Base seca [3]

Combustible	Humedad (%)	Material volátil (%)	Cenizas (%)	Carbono fijo (%)	Poder calorífico (kcal/kg)
Carbón bituminoso	4,0	40,0-45,0	5,0-17,0	34,0-51,0	7,126
Carbón vegetal	2,0-10,0	3,0 -30,0	2,0-5,0	55,0-93,0	5,203
Cascarilla de arroz	9,8	54,7	16,0-23,0	12,5-19,5	2,976
Viruta de madera	10,0-12,0	78,0 -88,0	0,91	9,8-12,8	4,865
Cáscara de cebada	8,2	88,0	10,2	6,5-9,5	5,127
Cáscara de café	6,8	82,0	4,3	14,0-18,0	4,653

Tabla 4. Análisis elemental de algunos combustibles-biomasa. Base seca [3]

Combustible	Carbón (%)	Hidrógeno (%)	Sulfuro (%)	Nitrógeno (%)	Cloruro (%)
Cáscara de cebada	51,11	6,78	0,03	3,68	0,02
Cáscara de café	49,03	5,95	0,05	0,49	0,01
Viruta de madera	51,72	6,03	0,05	0,05	0,01

Tabla 5. Densidades de algunos residuos....kg/m<sup>3</sup>) [2]

Residuo	Humedad (%)					
	10	30	50	60	80	100
Aserrín	155	185	215	230	255	285
Viruta	30	100	115	120	135	150
Corteza de pino	140	160	190	200	225	250
Corteza de madera blanda	300	360	410	440	495	550
Madera triturada	175	210	240	255	290	320
Polvo de lijado	265	310	—	—	—	—
Recortes de chapas varios	110	140	170	185	215	245
Desperdicios de carpintería	105	130	—	—	—	—

## Densidad

Los residuos, por lo general, presentan bajas densidades, para superar ello se emplean diversas técnicas de densificación como el briqueteado o la aglomeración, lo que facilitará su manejo y transporte y reducirá sensiblemente las pérdidas de material y la contaminación ambiental.

La densidad que presentan los residuos forestales varía de acuerdo al grado de compactación que muestren los mismos, así como al contenido de humedad, por lo que para un mismo producto se muestra un amplio rango de valores. Estas características también determinarán el poder calorífico y el costo del transporte, el cual podrá encarecer, sustantivamente, el valor del producto, por ello, preferentemente, es recomendable su empleo en zonas cercanas a las de su obtención.

## Operaciones físicas

Las operaciones de recolección, almacenamiento y transporte pueden generar pérdidas del producto por lo que es recomendable reducir al mínimo recurrido.

## Almacenamiento

Las variables del clima, entre otros aspectos, afectan las propiedades de los residuos por lo que se tiene la necesidad de almacenarlos. El almacenamiento puede ser costoso debido a los grandes volúmenes por la baja densidad, además puede ocasionar la presencia de roedores e insectos, asimismo se debe minimizar la posibilidad de incendios y explosiones fundamentalmente.

## Impacto ambiental

Se debe tener presente el aspecto ambiental, por ejemplo si los residuos en los terrenos de cultivo reducen la erosión del suelo y sirven de fertilizantes del terreno, o si su eliminación crea problemas y/o costos adicionales.

## III. DESARROLLO DE AGLOMERADOS

### Aglomeración

Aumento de tamaño, Es cualquier proceso mediante el cual las partículas pequeñas se unen para dar como resultados masas más grandes y permanentes en las que se puedan identificar las partículas originales. Las aplicaciones incluyen la constitución de formas útiles (ladrillos y losetas), así como gránulos irregulares para el beneficio industrial [5].

Hay un gran número de ventajas que se derivan de los procedimientos de aumento de tamaño, como se enuncian a continuación: Reducen las pérdidas por producción de polvos, reducen los peligros de manejo, sobre todo cuando se trata de polvos irritantes o dañinos, densifican materiales para asegurar un almacenamiento o un envío más conveniente, evitan el endurecimiento y la formación de grumos, producen formas estructurales útiles, crean mezclas uniformes de sólidos que no se segregan y mejoran el aspecto de los productos.

Existen una gran variedad de métodos para incrementar el tamaño (observar tabla n.º 6).

Los métodos de aumento de tamaño recomendados para los residuos de biomasa secundaria son compactación a presión (prensa de moldeo de compresión) y aglomeración por volteo.

Tabla 6. Métodos de aumento de tamaño [5].

Método	Equipo
Compactación a presión	Prensa de moldeo de compresión
	Prensa productora de tabletas
	Prensa tipo rodillo
	Molino de graduación
	Extrusor de tornillo
Aglomeración por volteo	Bandeja inclinada o disco
Otras técnicas Rociamiento Proceso so-gel Procesos de lechos fluidificados Aglomeración a partir de suspensiones en líquidos Agrupamiento	Torre de rociado
	Columna de rocío
	Lechos fluidificados
	Varias formas de agitación
	Mezclador cónico

### Aglomerantes

Un aglomerante es definido como algo que produce cohesión en sustancias. Cabe recordar que cualquier material puede ser compactado sin aglomerante, si es que es compactado a altas presiones.

Es importante mencionar que el proceso de compactación se describe en tres etapas:

- Se realiza la recolección de partículas.
- El deslizamiento relativo entre las partículas decrece rápida y elásticamente como la deformación plástica empieza a ser importante.
- La deformación plástica, en el caso de materiales resistentes, y rotura, en el caso de materiales frágiles, son dominantes.



Figura 3. Aglomerante natural de tapioca (yuca)

Fuente: [http://innovacion.gob.sv/inventa/index.php?option=com\\_content&view=article&id=7963:tecnicas-de-concentracion-de-hidrolizados-de-almidon-de-yuca&catid=129:alimentos-y-bebidas&Itemid=297](http://innovacion.gob.sv/inventa/index.php?option=com_content&view=article&id=7963:tecnicas-de-concentracion-de-hidrolizados-de-almidon-de-yuca&catid=129:alimentos-y-bebidas&Itemid=297)



### Mecanismos de aglomeración

Los mecanismos de enlace en los aglomerados se dividen en cinco grandes grupos. Durante una operación particular de aumento de tamaño se puede aplicar más de un mecanismo.

Los mecanismos de enlace de aglomeración son puentes sólidos, enlace de líquidos móviles, puente de líquidos inmóviles, fuerzas intermoleculares y electrostáticas, interconexión mecánica. El mecanismo de aglomeración recomendado para los residuos de biomasa secundaria es el de los puentes sólidos.

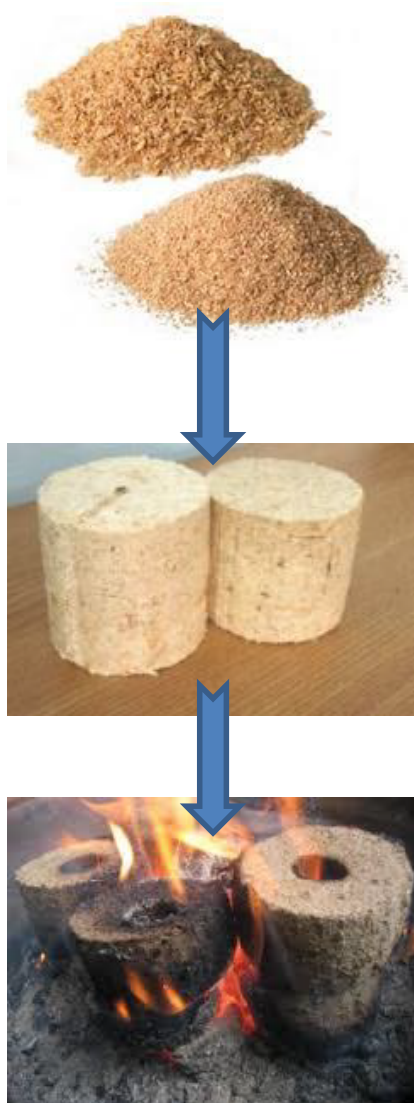


Figura 2. Proceso de fabricación de aglomerado de residuo de biomasa

Fuente: <http://libreopinion.prophpb.com/topic16860.html>,  
<http://uncaminoalaautosuficiencia.blogspot.pe/2012/09/briquetas-de-biomasa-aseras-y-micro.html>

### IV. RESULTADOS

Después de ser calentados, los residuos de biomasa presentaron una reducción de la materia volátil de 31 % y un incremento del poder calorífico de 16 %.

### V. CONCLUSIONES

- Los residuos agrícolas tienen el potencial para ser utilizados como fuente importante de combustible debido al poder calorífico que poseen.
- El calentamiento mejora las propiedades de los residuos de biomasa e intensifica su poder calorífico, reduce el porcentaje de materia volátil e incrementa la resistencia a la biodegradación.
- La reducción de emisiones de humo durante la combustión de briquetas, elaboradas a partir de material calentado, se debe a la reducción de la materia volátil.
- A pesar que es posible usar los residuos agrícolas directamente, su utilización como aglomerado proporciona un combustible con ventajas comparativas tanto en la combustión como en el almacenaje y su manejo.

### VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. Assureira, M. Assureira, "Potencial energético de la biomasa residual en el Perú" Conferencia Anual del Consorcio de Universidades, 2014, pp. 8.
- [2] E. Assureira, R. Macedo, "Aprovechamiento de los residuos agrícolas y forestales de bajo impacto ambiental", 1a ed., Lima 1999, Concurso CONCYTEC, pp 20.
- [3] A. Kaupp, "Gasification of rice hulls theory and practice", Capítulo V, Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 1984, pp 102-104.
- [4] P.D. Grover & S.K. Mishra, "Potential agro-residues and their characteristic", Regional wood energy development program .8in Asia, Field Document n.º 46, Bangkok, April, 1996, pp 4-6.
- [5] R. Perry, "Biblioteca del Ingeniero Químico", Volumen III, Capítulo 8, México, 1987, Mc Graw- Hill, pp 66.